

Indagini e controlli geotecnici in cave di gesso in sotterraneo

Sabrina Bonetto¹, Mauro Fornaro², Domenico Antonio De Luca², Manuela Lasagna²

¹Dipartimento Georisorse, Territorio e Geotecnologie (DITAG) – Politecnico di Torino, sabrina.bonetto@polito.it. Autore corrispondente, Via San Secondo, 12 – 10128 Torino. Fax. 011/6705182

²Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino, mauro.fornaro@unito.it, domenico.deluca@unito.it; manuela.lasagna@unito.it

Geotechnical surveys and monitoring in underground gypsum quarries

ABSTRACT: This study focuses on quarrying activity in the Monferrato area (Piedmont, NW Italy), where open pit and underground gypsum quarries are present. The aim of the research is to analyse the actual setting of this quarry in order to plan rehabilitations and reuses of the abandoned quarry and extension work in the active ones. Geological and structural features of the gypsum bodies have been defined and geotechnical and mechanical considerations have to be defined, in particular in case of underground quarries where exploitation carried on different levels with room and pillars pattern.

In order to reach the aims of the research it is essential to characterize the ore body in term of stress distribution and long term stability. This paper reports a methodology of geotechnical and geomechanical survey and monitoring suitable in gypsum quarries and applied in underground quarries in the Monferrato area.

Key terms: Gypsum quarry, Geotechnical features, Stress monitoring.

Termini chiave: Gesso, Stato tensionale, Caratterizzazione geotecnica, Monitoraggio

Riassunto

Nell'ambito di uno studio inerente l'attività estrattiva del gesso nel Monferrato (Piemonte), sono state prese in esame una serie di cave di gesso sia in sotterraneo, sia a cielo aperto, con lo scopo di valutarne l'attuale stato di coltivazione, le prospettive di sviluppo futuro ed un eventuale riuso dei vuoti abbandonati.

giacimenti, sia le condizioni meccanico-strutturali delle cave analizzate. Una particolare attenzione è stata rivolta alle cave in sotterraneo, coltivate per camere e pilastri o per camere e diaframmi ed organizzate su più livelli di coltivazione.

In questi casi infatti è necessaria una buona conoscenza dello stato tensionale delle strutture di cava e delle sue variazioni nel tempo sia per valutare la stabilità dello scavo a medio-lungo termine e formulare adeguate ipotesi di recupero, sia nell'ottica di una eventuale prosecuzione della coltivazione stessa, soprattutto nel caso in cui si preveda la realizzazione di nuovi livelli a quote inferiori.

Si riportano per tanto nel presente lavoro alcune considerazioni in merito alla tipologia di indagini e di misure geotecniche effettuate o in corso di realizzazione per l'individuazione di eventuali fenomeni deformativi in atto nei singoli settori di cava.

Introduzione

L'ambito geografico in cui è stata svolta la ricerca è circoscritto ad un settore piemontese, denominato "Monferrato" (NW Italia), all'interno del quale sono concentrate le più importanti unità estrattive di gesso presenti nel settore nord occidentale del territorio nazionale.

Il Monferrato rappresenta uno dei domini tettono-stratigrafici del Bacino Terziario Piemontese (BTP) (Fig. 1). ed i giacimenti di gesso oggetto di estrazione appartengono alla Formazione Gessoso-Solfifera messiniana. Si tratta di alternanze di gessi macrocristallini e microcristallini con

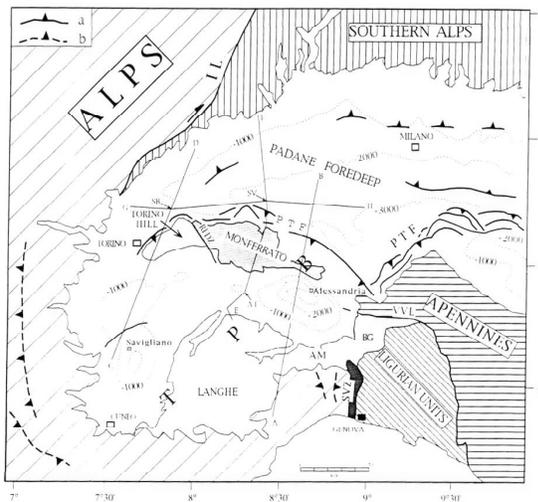


Figura 1: Schema geologico del Bacino Terziario Piemontese. *Geological sketch of the Terziary Piedmont Basin.*

Nel corso della presente indagine sono pertanto state esaminate sia le caratteristiche geologico-strutturali dei

intercalazioni marnoso-argillose, in masse di notevole potenza ed estensione, talora interessati da fenomeni di carsismo (Dela Pierre et al., 2003).

Nel Monferrato sono presenti svariate unità estrattive con dimensioni variabili, di cui solamente 4 ancora attive (Tab. 1). Si tratta di coltivazioni impostate a giorno e/o in sotterraneo, lungo versanti collinari che oscillano tra le quote di 200 e 300 metri s.l.m.

Tabella 1 - Principali unità estrattive del Monferrato
Main quarries of the Monferrato area.

Comune	Tipologia di cava	Stato di attività
Moncucco	Ripresa a giorno di una cava in sotterraneo e	Attiva
Cocconato - Montiglio	Ripresa a giorno di una cava in sotterraneo	Attiva
Moncalvo	In sotterraneo	Attiva
Moncalvo	Cielo aperto	Recupero produttivo
Montiglio (Cava Codana e Cava Lavone)	In sotterraneo	Inattive
Murisengo	In sotterraneo	Attiva

Nel corso della presente indagine è stata dedicata una particolare attenzione alle cave in sotterraneo in conseguenza delle particolari problematiche inerenti alla stabilità delle gallerie di scavo sia nelle cave abbandonate, sia in quelle attualmente in coltivazione per monitorare il comportamento geomeccanico dell'ammasso durante il regolare svolgimento dell'attività estrattiva (Fornaro et al, 1996).

Verifiche dello stato tensionale e della deformazione del gesso

Nelle coltivazioni in sotterraneo di gesso del Monferrato, i vuoti, disposti su più livelli, seguono uno schema a camere e pilastri; gli scavi presentano forma regolare e sono ottenuti procedendo nei diversi livelli di coltivazione con gallerie parallele di sezione costante, equidistanti tra loro e orientate secondo direttrici tra loro incidenti con angolo costante (Fig. 2).

Dall'analisi, in termini di efficacia, di differenti tipologie di indagine, applicabili nei casi di estrazione del gesso, è stato possibile mettere a punto una metodologia di indagine, applicabile nelle differenti realtà estrattive oggetto di studio, utile ai fini di determinare il carico d'esercizio agente sui pilastri e verificare la rispondenza dei carichi limite di progetto con quelli misurati (in particolare per i pilastri ubicati nei livelli di cava più profondi), monitorare le variazioni dello stato tensionale dell'ammasso gessoso nel tempo e valutare gli eventuali effetti negativi legate alle operazioni di scavo ancora in corso.

In particolare, si è osservato che è possibile ottenere risultati attendibili, facilmente interpretabili e confrontabili,

mediante l'installazione di:

- martinetti piatti sulle pareti dei pilastri integri e di quelli maggiormente sollecitati;
- celle pressiometriche;
- chiodi distometrici per effettuare misure di convergenza;
- monitoraggio superficiale per verificare l'esistenza o l'evoluzione di alcuni fenomeni deformativi in atto, in prossimità o in corrispondenza del piano campagna



Figura 2 - Particolare di un tratto di cava in sotterraneo.
Drift of a gypsum underground quarry.

Le prove di martinetto piatto sulle pareti dei pilastri permettono di determinare lo stato tensionale in situ in corrispondenza dei punti di misura prescelti (pressione di esercizio sui pilastri sottoposti a prova). Il metodo di prova con martinetto piatto singolo si fonda sul principio per cui, in un corpo sottoposto a carichi, una discontinuità prodotta in una sua sezione provoca la liberazione delle tensioni che mutuamente le due parti del corpo si scambiano attraverso quella superficie ideale. (Fig. 3)



Figura 3 - Martinetto piatto installato in corrispondenza di un pilastro della cava S.Pietro - Prato Nuovo di Murisengo.
Flat jack installed in a pillar of the "San Pietro-Pratonuovo" quarry of Murisengo(AL).

L'annullamento delle tensioni in quella sezione, dovuto all'eliminazione delle iperstaticità interne, genera l'instaurarsi di deformazioni individuali attraverso la variazione delle distanze di punti posti simmetricamente rispetto al taglio stesso.

Mediante l'introduzione di un martinetto piatto nella discontinuità creata è possibile incrementare gradualmente le pressioni, fino a che i punti si riportino nelle rispettive posizioni che occupavano inizialmente.

Il valore della pressione per il quale si è ristabilita la configurazione geometrica iniziale, corrisponde al valore della tensione ricercata, ovvero allo stato di sollecitazione del mezzo al momento della prova.

La validità del principio permane fintanto che nell'intorno della discontinuità prodotta il corpo non esce dal regime elastico lineare.

Dalla ricostruzione della curva sforzi-deformazioni così ottenuta è possibile pertanto valutare, in linea generale:

- lo stato tensionale di esercizio, corrispondente alla pressione applicata capace di indurre una deformazione uguale e contraria a quella causata dal rilascio tensionale
- il modulo elastico del materiale in funzione della tensione (più appropriatamente ricavabile con una prova di martinetto doppio)
- la eventuale soglia di plasticizzazione
- l'eventuale comportamento isteretico, tramite realizzazione di cicli di carico e scarico.

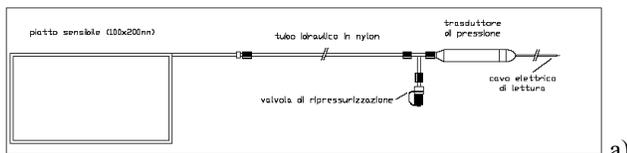


Figura 4 - a) Schema delle celle di pressione installate; b) Cella installata su un pilastro della cava "San Pietro-Pratonuovo" di Murisengo.

a) *Scheme of the pressure cells installed; b) Pressure cells installed in a pillar of the "San Pietro-Pratonuovo quarry" (Murisengo).*

Le celle di pressione sono invece strumenti di controllo e monitoraggio periodico in grado di registrare e restituire eventuali variazioni di carico agente in corso d'opera evidenziando variazioni dello stato tensionale in situ. (Fig. 4). In alcuni casi, ad esempio, si è fatto ricorso a celle

idrauliche di pressione rettangolari, installate in appositi intagli, sia con restituzione elettrica automatica della pressione esercitata sulla cella, sia con lettura dello spostamento con calibro e successiva conversione in valore pressione

In seguito ad una operazione di ripressurizzazione dopo l'installazione per riportare l'ammasso in condizioni simili a quelle iniziali, si determina la lettura di zero di ogni singola cella, cui faranno seguito periodiche letture, ad intervalli da stabilire in funzione degli eventuali avanzamenti dei lavori (Fig. 5). La lettura di zero deve comunque essere ripetuta a distanza di una settimana in modo da determinare l'assettamento delle misure e le perdite di carico fisiologiche del sistema come conseguenza della ripressurizzazione (quantificabile in questi casi in circa il 15-20% del sovraccarico applicato).



Figura 5 - Misura con deformometro
Deformeter mesurement

In questi casi tuttavia possono risultare difficoltose le operazioni di intaglio e corretto posizionamento delle celle rettangolari piatte per effetto della plasticità del gesso e della sua tendenza a chiudersi in poco tempo; in alternativa è possibile utilizzare Borehole Stressmeters attrezzati con celle di pressione idrauliche oppure, più semplicemente, a corda vibrante, installati all'interno di un foro circolare, facilmente realizzato con semplici perforatrici (i diametri del foro richiesti variano infatti da circa 35 a 80 mm). Un maggior dettaglio nella ricostruzione dello stato tensionale in masse di gesso può essere ottenuto mediante "Vibratine Wire Stressmeters Station" a 2 o tre componenti (celle di pressione collegate ed orientate secondo un angolo rispettivamente di 90° o 120° l'una dall'altra) installabili anch'esse in fori circolari appositamente realizzati (Fig. 6), ma non utilizzate nella presente indagine. Tali sistemi di misura consentono di ottenere le diverse componenti del campo di stress, a seconda del numero e dell'orientazione delle celle nella singola stazione, restituendo con maggior precisione la distribuzione degli sforzi all'interno del pilastro in cui vengono installate. In particolare nel gesso

danno ottimi risultati i cosiddetti “Biaxial Stressmeters” a 3 o 6 sensori a corda vibrante orientati ad intervalli di 60°.

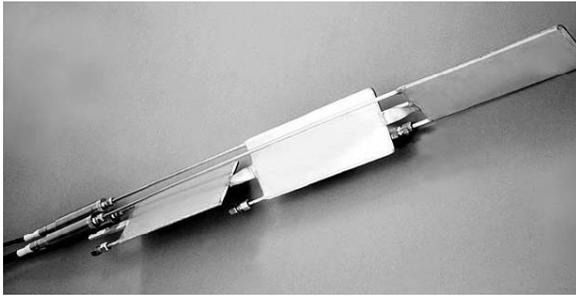


Figura 6 - Esempio di “Vibrating Wire Stressmeters Station” a 3 componenti.

Example of the “Vibrating Wire Stressmeters Station” with 3 components.

Per un ulteriore controllo del rilassamento della roccia a seguito degli scavi e per ottenere dati aggiornati ed aggiornabili sul profilo delle pareti di scavo e delle strutture interne (pareti e soletta), evidenziando eventuali deformazioni, sono stati frequentemente installati chiodi distometrici, lungo i piedritti, alla base della sezione ed in calotta, in corrispondenza dei quali effettuare misure di convergenza. Tali misure possono inoltre essere eseguite mediante estensimetri a nastro, distometri che montano un nastro graduato realizzato in materiale a bassa estensibilità oppure mediante rilievo topografico a stazione variabile o rilievo topografico tridimensionale di precisione con capisaldi dotati di apposite mirette (Fecker & Fornaro, 1986).



Figura 7 - Porzione di carota di gesso macrocristallino su cui sono state effettuate le analisi di laboratorio

Core sample of coarse grained gypsum employed in the laboratory tests.

Ulteriori informazioni in merito allo stato di deformazione possono essere ottenute attraverso misure estensimetriche in corrispondenza a discontinuità esistenti o intagli appositamente realizzati. In questi casi è stato

possibile ricorrere all'uso di appositi estensimetri a barre (in acciaio o in fibra di vetro) con comparatore meccanico o elettrico e fessurimetri a lunga corsa centesimali.

All'installazione della suddetta strumentazione geotecnica, è risultato solitamente utile prelevare campioni cilindrici di materiale, mediante carotaggio continuo, per effettuare una caratterizzazione fisico-meccanica della roccia attraverso la determinazione della resistenza a compressione semplice, della resistenza a compressione triassiale, della resistenza a trazione indiretta (mediante Prova Brasiliana) e del modulo di elasticità (mediante rottura a compressione con controllo della deformazione) (Fig. 7).

In corrispondenza ad aree di versante, ad attività media od elevata, o in presenza di coperture geotecnicamente scadenti o con spessori elevati, si è ricorso anche ad una rete di monitoraggio esterna (reti di monitoraggio geodetico) in corrispondenza al piano campagna, per verificare e controllare l'evoluzione di fenomeni che interessano il piano campagna, direttamente o indirettamente, quali sprofondamenti in terreno agricolo, movimenti in prossimità imbocco galleria.

Tali rilievi sono stati condotti ad esempio attraverso il rilievo di capisaldi mediante stazioni totali costituite da teodolite e unità EDM.

Conclusioni

L'ambito geografico in cui è stata svolta la ricerca è circoscritto ad un settore piemontese, denominato “Monferrato” (NW Italia), all'interno del quale sono concentrate le più importanti unità estrattive di gesso presenti nel settore nord occidentale del territorio nazionale.

In funzione di ampliamenti ed approfondimenti dei piani di coltivazione di cave di gesso attive oppure in caso di ipotesi di recupero e riuso di cave dismesse, è stata valutata la validità di alcune indagini geotecniche che, effettuate in corrispondenza a pilastri e sezioni di scavo, hanno permesso di ricostruire lo stato tensionale dell'ammasso di gesso, l'entità e le caratteristiche della deformazione dei vuoti ed il rischio connesso al verificarsi in superficie di fenomeni di dissesto, in grado di coinvolgere terreni agricoli, abitazioni e, più in generale, proprietà private.

Le indagini ed i controlli geotecnici eseguiti sono consistiti in:

- installazione di martinetti piatti e di celle pressiometriche sulle pareti dei pilastri integri e di quelli maggiormente sollecitati;
- chiodi distometrici per effettuare misure di convergenza;
- reti di monitoraggio geodetico in superficie per verificare l'esistenza o l'evoluzione di alcuni fenomeni deformativi in atto;
- caratterizzazione fisico-meccanica attraverso la determinazione della resistenza a compressione semplice, della resistenza a compressione triassiale, della resistenza a trazione indiretta (mediante Prova

Brasiliana) e del modulo di elasticità mediante rottura a compressione con controllo della deformazione.

Da un esame generale dei risultati delle prove effettuate, si può preliminarmente evidenziare che i punti rappresentativi delle pressioni al martinetto e delle corrispondenti deformazioni medie si allineano abbastanza regolarmente denunciando un comportamento lineare elastico per i campi di pressione investigati e fino alle deformazioni massime raggiunte.

Dall'analisi delle diverse situazioni osservate si evince come tendenzialmente i pilastri di gesso presentino un nucleo a spiccato comportamento elastico nella parte centrale tipico del gesso sano e compatto e fasce corticali dello spessore di alcuni decimetri (40- 50 cm in media), in cui si raggiungono valori limite delle proprietà elastiche o il superamento degli stessi (Barla & Innaurato, 1974; Occella, 1958).

Dalle indagini di laboratorio, eseguite su provini di gesso a grana grossa e grana media prelevati direttamente in corrispondenza della suola della galleria - e quindi più

rappresentativi in quanto direttamente paralleli alla direzione di carico agente - sono stati recentemente ricavati ranges di valori della resistenza alla compressione monoassiale e del modulo di elasticità estremamente elevati ($C_0= 18-19$ MPa e $E=19.000-20.000$ MPa), rispetto a quelli bibliografici di riferimento ($C_0= 7-14$ MPa e $E=3.000-10.000$ MPa) (Ferrero et al., 1990; Biolatti et al., 1992). Le resistenze a trazione ricadono invece nell'intervallo 0.7 -1.5 MPa.

L'elaborazione dei dati ed il monitoraggio dello stato deformativi verranno affrontati nel proseguo della presente ricerca.

Ringraziamenti

Si ringraziano in particolar modo l'Ing. Sandro Gennaro ed i proprietari della "Cava San Pietro-Pratonuovo" per la disponibilità e la collaborazione dimostrata nello svolgimento della presente ricerca.

Bibliografia

- Barla G., Innaurato N. (1974) – Stato tensionale nei pilastri di una cava di pietra da gesso, considerazioni sulla stabilità. Atti Conv. Inter. sulla Coltivazione di pietre e minerali litoidi, Torino, 4-6 ottobre 1974, III, 1-22.
- Biolatti G., Del Greco O., Fornaro M., Savasta G. (1992) - Le coltivazioni sotterranee di gesso: la progettualità e la sicurezza in corso d'opera. Proc. Eurocave Congress, St. Vincent, AO, 280-284.
- Dela Pierre F., Piana F., Fioraso G., Boano P., Bicchi E., Forno M.G., Violanti D., Balestro G., Clari P., D'atri A., De Luca D., Morelli M., Ruffini R. (2003) - Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000; Foglio 157 Trino. Settore Studi e ricerche Geologiche – Sistema Informativo Prevenzione Rischi - ARPA, Litografia Geda, Nichelino.
- Fecker E., Fornaro M. (1986) - Rilievi geomeccanici in tratti di nuova costruzione delle ferrovie tedesche occidentali. Esperienze e risultati". Atti Congr. Intern. su Grandi Opere Sotterranee, Firenze, 1, 147-154.
- Ferrero A.M., Del Greco O., Giani G.P., Ranieri G., Stragiotti L. (1990) – Application of seismic tomography to the rock mass modelling. Mechanics of Jointed and Faulted Rock, Rossmann Ed., Balkema, Rotterdam, 129-136.
- Fornaro M., Savasta G., Accattino G., Amalberto S. (1996) - Progetto di una moderna coltivazione di gesso in sotterraneo ed inserimento ambientale dell'attività estrattiva. IV Congr. Minerario Italo-brasiliano, Canela (Brasile), Ed. EGATEA Porto Alegre, 104 – 114.
- Occella E. (1958) – Caratteristiche di stabilità dei cantieri sotterranei nelle coltivazioni di pietra da gesso nell'Astigiano. *Industria Mineraria*, 9, pp. 525-611.